

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ОКГ НА РАСТВОРАХ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ, ВОЗБУЖДЁННЫХ ИЗЛУЧЕНИЕМ АЗОТНОГО ЛАЗЕРА

И. КЕЧКЕМЕТИ, Б. РАЦ, Ж. БОР, Л. КОЗМА

Институт экспериментальной физики университета им. А. Йожефа, г. Сегед

(Поступило в редакцию 1 июля 1974 г.)

В работе проведено исследование ОКГ на органических красителях, возбуждённых азотным лазером. В широкополосном резонаторе, образованном стенками кюветы, получилась генерация от 3620 Å до 6600 Å на любой длине волны.

Уникальные свойства ОКГ на красителях общеизвестны. Лазерам на растворах красителей характерны высокая мощность в импульсе, высокая частота повторения и широкая область непрерывного перестраивания генерации излучения [1]. Однако потери, возникающие во время генерации, требуют большой скорости накачки, так как триплетный уровень быстро заселяется и выступающие триплет-триплетные поглощения могут конкурировать с усилением [2]. Термооптические искажения раствора также могут срывать генерацию. Ввиду этого мало число тех красителей, которые генерируют при ламповой накачке. Более эффективное возбуждение можно осуществить излучением твёрдотельных лазеров; однако, в этом случае усложняется экспериментальная работа. После создания азотного лазера открылся новый путь для накачки лазеров на красителях. Азотные ОКГ имеют простую конструкцию и без использования удвоителя частоты можно их эффективно использовать для возбуждения растворов красителей.

Для возбуждения лазеров на красителях был использован импульсный азотный ОКГ с поперечным разрядом, построенный авторами [3]. Лазерный переход на длине волны 3371 Å соответствует переходу между уровнями $S^3\pi_u$ и $V^3\pi_g$ молекулы азота. Лазер относится к лазерам на самоограниченных переходах [4, 5, 6]. Так как время жизни верхнего уровня 40 нсек, а среднего 10 мксек, инверсия населённости может образоваться только в начале возбуждающего разряда на короткое (меньше 5—10 нсек) время. Необходимая плотность тока накачивающего разряда порядка 1 кА/см².

Принципиальная электрическая схема питания лазерной камеры приведена на рис. 1. Источник высокого напряжения через сопротивления R_1 и R_2 заряжает полосковые линии C_1 и C_2 . С помощью разрядного промежутка S быстро разряжаем C_2 , вследствие которого между верхними обкладками C_1 и C_2 появляется высокое напряжение и происходит пробой в лазерной камере. Время разряда определяется временем распространения электрического сиг-

нала в C_2 , а ток разряда волновым сопротивлением линии и прикладываемым к системе напряжением. Рис. 2. показывает конструкцию ОКГ на азоте. Расстояние между электродами E в разрядной камере L 8 мм. С целью увеличения пространственной однородности разряда на поверхности электродов было создано 750 выступов. Длина камеры $a = 50$ см, а общая длина линий $b = 110$ см.

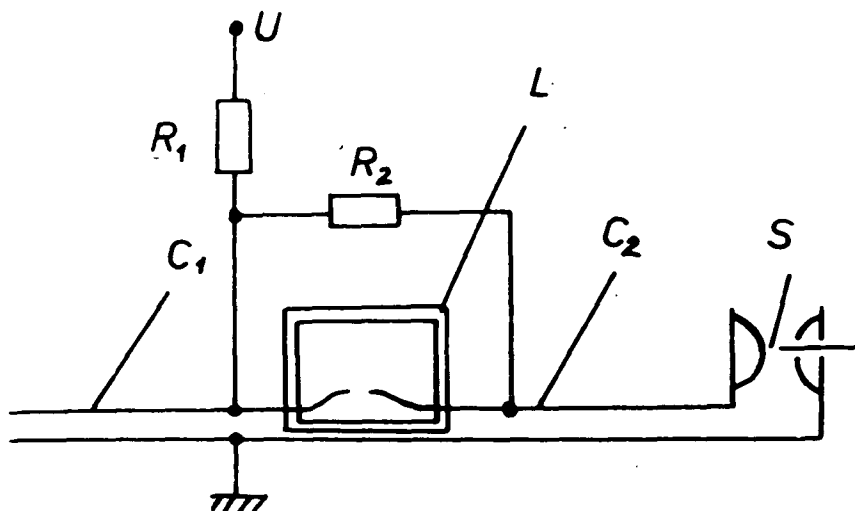


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема лазера

Толщина диэлектрика $D = 300$ мк и волновое сопротивление полосковых линий 0,15 ом. Вывод излучения осуществляется через кварцевое окно, а с противоположной стороны установлено плоское зеркало T . При необходимости продув азота через камеру осуществляется с помощью вакуумной системы через выводы V . Зависимость энергии в импульсе лазера от давления p рабочего газа приведена на рис. 3. Оказалось, что энергия максимальная, если значение $\frac{E}{p} = 165 \frac{\text{В}}{\text{см. мм. рт. ст.}}$. Мощность в импульсе приблизительно 235 квт.

Частота повторения импульсов 25 гц, что ограничивается мощностью источника высокого напряжения. Азотный лазер не требует особо чистого азота.

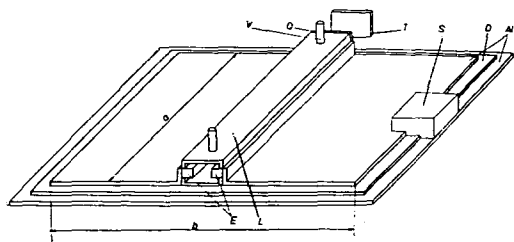


Рис. 2. Конструкция азотного лазера

Поперечный и продольный варианты накачки ОКГ на красителях приведены на рис. 4а и 4б. Короткие, мощные импульсы накачки азотного лазера позволяют получить такие высокие коэффициенты усиления, что даже четырёхпроцентное отражение на

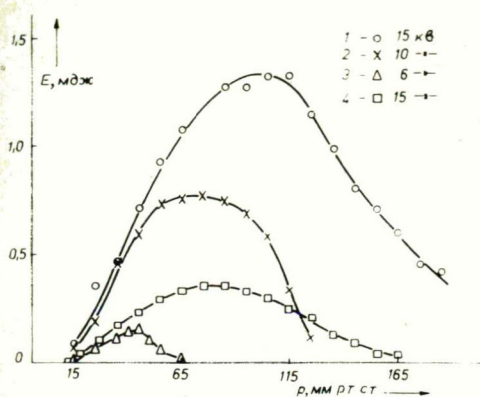


Рис. 3. Зависимость энергии генерации от давления рабочего газа при разных напряжениях; 1—3 — рабочий газ азот, 4 — воздух

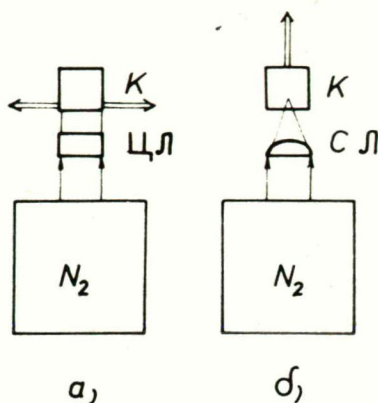


Рис. 4. Возбуждение генерации растворов красителей; а — поперечный, б — продольный вариант. K — кювета с раствором, $ЦЛ$ — цилиндрическая линза, $СЛ$ — сферическая линза, N_2 — азотный лазер

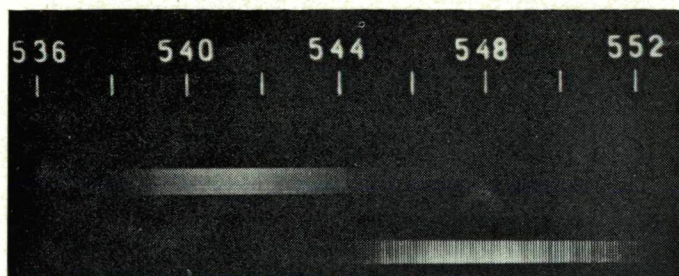


Рис. 5. Спектры сверхизлучения (вверху) и генерации (внизу) раствора флуоресцеина. Концентрация 10^{-3} моль/л, растворитель этанол

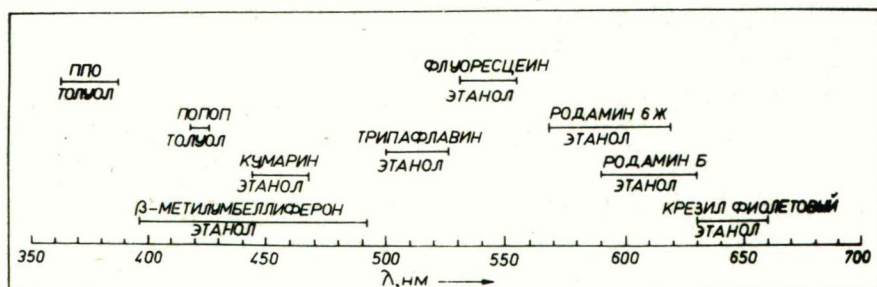


Рис. 6. Спектральная область генерации разных красителей

поверхностях кюветы достаточно для получения генерации. Далее при устранении обратной связи можно получить и сверхизлучение. Рис. 5. показывает спектры лазерного излучения и сверхизлучения раствора флуоресцеина. Значит, использование лазера даёт возможность исследовать спонтанную эмиссию, генерацию и сверхизлучение различных материалов.

Так как при накачке красителей с помощью азотного лазера не происходит интенсивное разрушение молекул красителей, триплетные состояния красителей не заселяются и во время генерации не возникают термооптические искажения в растворе, частота повторения может быть высоким и КПД даже может

стать больше 50 процентов. Число веществ, на которых можно получить генерацию, весьма большое. Рис. 6 показывает области генерации растворов по схеме, приведенной на рис. 4а и 4б. Видно, что с помощью такой простой схемы мы получили генерацию в спектральной области 3620 \AA — 6600 \AA . Спектральная ширина генерации $100\text{--}200 \text{ \AA}$. При использовании других материалов можно расширить область генерации.

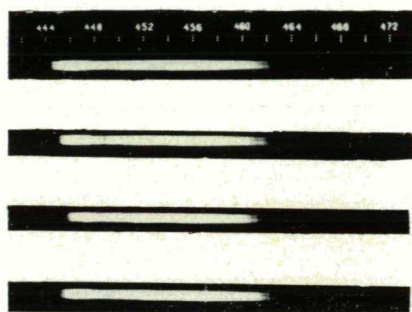


Рис. 7. Спектры генерации растворов при концентрации а — кумарина 1— $5 \cdot 10^{-4}$, 2— $2 \cdot 10^{-3}$, 3— $5 \cdot 10^{-3}$, 4— $1 \cdot 10^{-2}$ (моль/л),

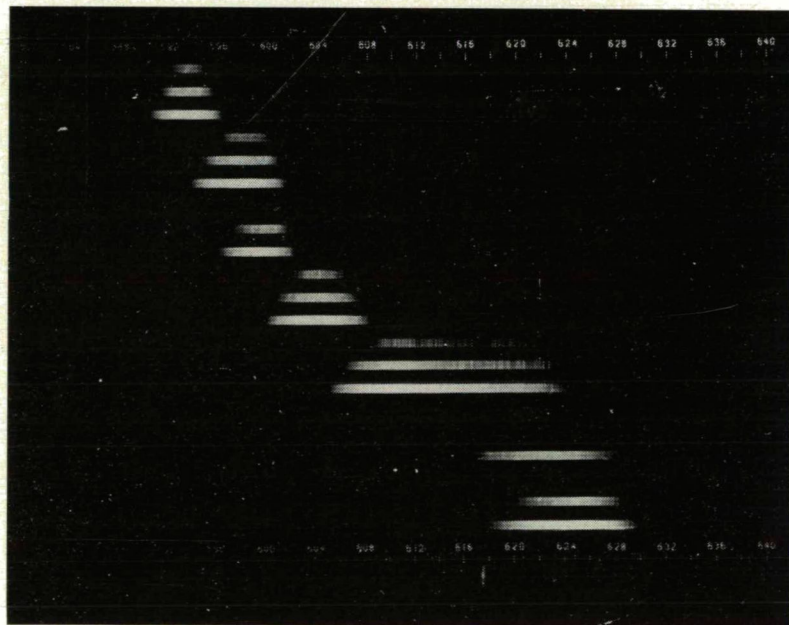


Рис. 7. б — родамина 6Ж (при разных количествах вспышек) 1— $4 \cdot 10^{-4}$, 2— $8 \cdot 10^{-4}$, 3— $1 \cdot 10^{-3}$, 4— $2 \cdot 10^{-3}$, 5— $4 \cdot 10^{-3}$, 6— $8 \cdot 10^{-3}$, 7— $1 \cdot 10^{-2}$ (моль/л)

Преимуществом лазеров на растворах является их перестраиваемость. Одним из методов перестройки является метод изменения концентрации активных молекул [7]. Рис. 7 показывает изменение спектра генерации при разных концентрациях красителей для родамина 6Ж и 7-диметиламино-4-метилкумарина. Как видно, область генерации раствора кумарина практически не меняется с увеличением концентрации, а родамина 6Ж наоборот, перестраивается. Для объяснения данного эффекта рассмотрим коэффициент усиления, который имеет следующий вид [8]:

$$k_{yc}(v) = n_3 \frac{v^2}{8\pi\tau_0} \frac{f_q(v)}{v^2} - \left(1 - \frac{n_3}{n}\right) k(v)\eta^*(v) \quad (1)$$

где $f_q(v)$ — спектр люминесценции, $k(v)$ — коэффициент поглощения, τ_0 — естественное время затухания, $\eta^*(v)$ — спектр квантового выхода люминесценции, n_3 — концентрация возбужденных молекул, v — скорость света в растворе. Так как для кумарина (спектры которого не перекрываются) величиной $k(v)\eta^*(v)$ можно пренебречь в области генерации и спектральное положение спектра усиления определяется спектром люминесценции $f_q(v)$, изменение концентрации не вызывает перестройку генерации. Спектры поглощения и люминесценции родамина 6Ж сильно перекрываются, и так частота максимума коэффициента усиления зависит от n и от значения $k(v)\eta^*(v)$. При увеличении концентрации красителя в коротковолновой области генерации потери на поглощение сильнее увеличиваются чем в длинноволновой части, а генерация смещается в область меньших частот. Количественный анализ соотношения (1) показывает довольно хорошее соглашение с экспериментом.

Другим методом перестройки генерации является введение в резонатор какого-то спектрально-селективного элемента [9]. При добавлении в активный раствор какого-то вещества, имеющего круто меняющийся спектр поглощения в ожидаемой области генерации и поэтому селективно меняющиеся потери в резонаторе, можно получить перестройку генерации. Рис. 8 показывает спектры генерации родамина 6Ж при добавлении родамина Б в раствор. Видно, что простой метод перестройки, разработанный нами, применим и в том случае, когда генерация происходит в резонаторе, образованном только торцами кюветы.

Известно, что спектр люминесценции — и соответственно спектр генерации — β -метилумбеллиферона зависит

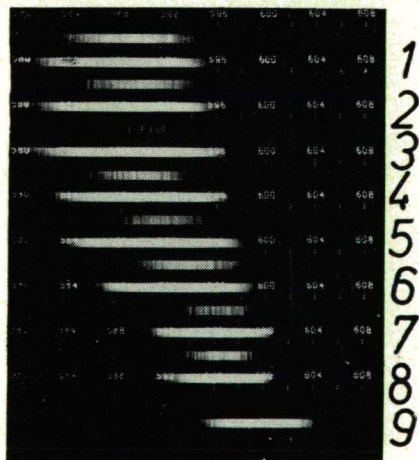


Рис. 8. Перестройка генерации раствора родамина 6Ж при добавлении в раствор родамина Б. Спектры сняты при разных количествах вспышек. Концентрация родамина 6Ж $5 \cdot 10^{-3}$ моль/л, концентрация родамина Б 1— $5 \cdot 10^{-6}$, 2— $7 \cdot 10^{-6}$, 3— $1 \cdot 10^{-5}$, 4— $2 \cdot 10^{-5}$, 5— $5 \cdot 10^{-5}$, 6— $7 \cdot 10^{-5}$, 7— $1 \cdot 10^{-4}$, 8— $2 \cdot 10^{-4}$, 9— $5 \cdot 10^{-4}$ (моль/л)

от растворяющей среды. Рис. 9 показывает спектры генерации растворов β -метилумбеллиферона в нейтральной, щёлочной и кислотной средах. Спектры показывают, что растворы этого вещества дают возможность для перестройки

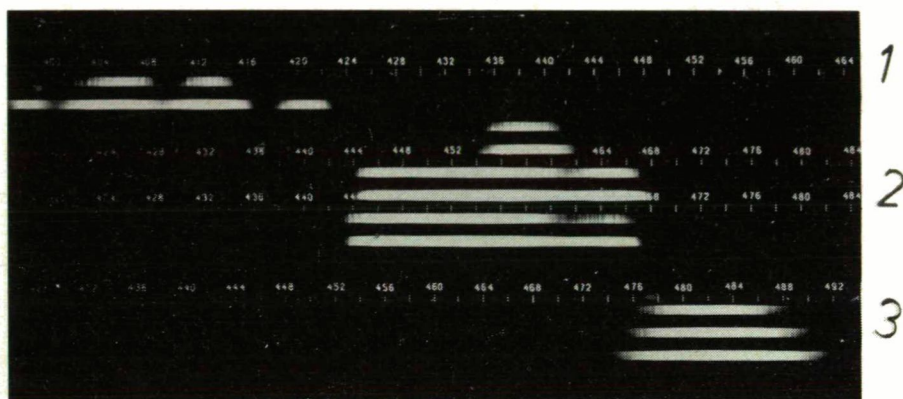


Рис. 9. Спектры генерации раствора β -метилумбеллиферона в 1 — нейтральной, 2 — кислой, 3 — щёлочной средах, снятые при разных количествах вспышек

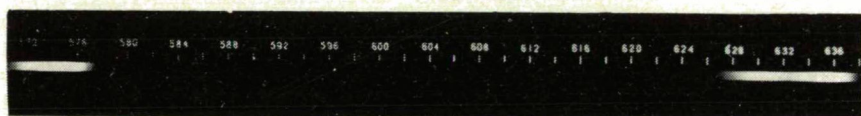


Рис. 10. Спектр генерации смешанного раствора родамина 6Ж и крезилфиолетового

генерации в широком спектральном диапазоне. Изменением характера растворяющей среды можно перестраивать спектр генерации.

В лабораторной практике часто употребляется одновременная двухполосная генерация. Одним из методов получения одновременной двухполосной генерации является использование в качестве активной среды лазера такого смешанного раствора, в котором для обоих компонентов условия для генерации имеют место. Рис. 10 показывает спектр двухполосной генерации смешанного раствора родамина 6Ж и крезилфиолетового. Соответствующим выбором различных компонентов генерацию можно получить на двух нужных длинах волн. Одновременную многополосную генерацию осуществили показанным на рис. 11 методом, где лазеры накачивают друг друга. Тот факт, что три жидких лазера генерируют одновременно, показывает большую эффек-

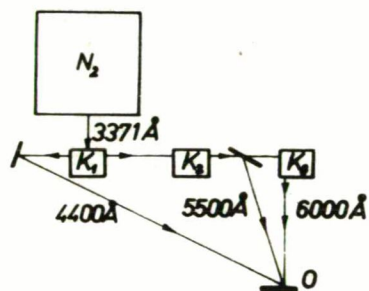


Рис. 11. Одновременная генерация трёх лазеров. N_2 — азотный лазер, K_1, K_2, K_3 — кюветы с растворами 7,4-кумарина, флуоресценина и родамина 6Ж соответственно, О — образец

тивность возбуждения короткими, мощными импульсами. Из рисунка видно, что определенный образец можно освещать тремя световыми пучками на разных длинах волн.

Целью дальнейших исследований является разработка таких смесей растворов красителей, которые позволяют получить широкую область генерации с высоким к. п. д. Лазеры на красителях дают возможность исследовать быстрые разнообразные межмолекулярные взаимодействия, вызванные светом различных длин волн.

* * *

Авторы выражают благодарность М. В. Белоконю за ценные советы при создании N₂ лазера.

Литература

- [1] Степанов, Б. И., А. Н. Рубинов: УФН, **95**, 45 (1968).
- [2] Степанов, Б. И.: Методы расчёта ОКГ. Препринт, Минск (1968).
- [3] Кечкемети, И., Б. Рац, Ж. Бор, Л. Козма: Acta Tech. Hung. (в печати)
- [4] Gerry, E. T.: Appl. Phys. Lett., **7**, 6 (1963).
- [5] Ali, A. W., A. G. Kolb and Anderson: Appl. Opt. **6**, 2115 (1967).
- [6] Ali, A. W.: Appl. Opt. **8**, 993 (1969).
- [7] Кечкемети, И., Л. Козма, И. Салма, Б. Рац, Э. Хун: ЖПС, **14**, 1000 (1971).
- [8] Ketskeméty, I., L. Kozma: Acta Phys. Acad. Sci. Hung., **35**, 63 (1974).
- [9] Кечкемети, И., Б. Рац, И. Салма, Э. Хун, Л. Козма: Acta Phys. et Chem. Szeged, **17**, 9 (1971).

INVESTIGATION OF DYE LASERS PUMPED WITH NITROGEN LASER

I. Ketskeméty, B. Rácz, Zs. Bor, L. Kozma

The paper reports on the investigation of dye lasers excited by a nitrogen laser. In a broad band resonator formed by the walls of the cuvette, generation could be obtained at any wavelength between 3620 Å and 6600 Å.